

# PROJETO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO SANITÁRIO EM UMA INDÚSTRIA DA CIDADE DE CHAPECÓ COM A TECNOLOGIA DE TRATAMENTO REATOR DE MEMBRANA

Ariel Bervian Roratto<sup>1</sup>  
Fabiana Regina Grigolo Luczkiewicz<sup>2</sup>  
Juliana Eliza Benetti<sup>3</sup>

## RESUMO

O aumento populacional vem causando redução na disponibilidade hídrica, assim como a falta de esgotamento sanitário faz com que a qualidade dos corpos hídricos seja prejudicada. Para a reversão deste cenário faz-se necessário utilizar outros mecanismos de gestão de recursos hídricos, como o reúso da água. Dentre as tecnologias disponíveis para o tratamento de esgoto, os reatores de membrana tem se destacado nos últimos anos, devido à alta eficiência de tratamento, capaz de gerar um efluente final com qualidade para reúso. Este trabalho teve como objetivo desenvolver o projeto de uma estação de tratamento de esgoto sanitário de uma indústria da cidade de Chapecó (SC), com a tecnologia de tratamento Reator de Membrana. Esta pesquisa utilizou o método científico indutivo, com nível de pesquisa exploratória. O delineamento utilizado foi estudo de caso de uma empresa fabricante de equipamentos de fibra de vidro em Chapecó-SC. Os dados foram coletados a partir de documentos, observação e imagens. A análise dos dados coletados foi quantitativa. Os resultados mostraram que a geração de esgoto decresceu no período analisado, tendo uma média de 4.001,64 litros/dia. O esgoto sanitário bruto apresentou relação DBO<sub>5</sub>/DQO igual a 0,53, e relação C:N:P igual a 100:11,97:2,17. Para os reúsos propostos, o efluente tratado deve atender o padrão de qualidade classe I. Com a caracterização do esgoto gerado pela empresa, e com a qualidade do efluente final estabelecida, foi dimensionada uma estação de tratamento com reator de membrana para a empresa.

**Palavras-chave:** Reúso. Membranas filtrantes. Tratamentos de esgoto sanitário.

## 1 INTRODUÇÃO

O lançamento de esgotos sanitários em corpos receptores, dependendo de seu grau de tratamento, altera a qualidade física, química e biológica da água deste corpo receptor, causando impacto ambiental e à saúde da população (JORDÃO; PESSÔA, 2017). O controle da qualidade de recursos hídricos, assim como o controle de lançamento de efluentes neles, são necessários para garantir a saúde e o bem-estar humano, e o equilíbrio ecológico (BRASIL, 2005). A redução de disponibilidade de água assim como a degradação de mananciais em áreas urbanas, vem restringindo o acesso a esse recurso, de modo que para a reversão deste cenário terão que

---

<sup>1</sup> Graduando em Engenharia Ambiental e Sanitária – UCEFF (2019).

<sup>2</sup> Docente do Curso Engenharia Ambiental e Sanitária – UCEFF.

<sup>3</sup> Docente do Curso Engenharia Ambiental e Sanitária – UCEFF. e-mail: juliana@uceff.edu.br.

ser utilizados outros mecanismos de gestão de recursos hídricos além dos já utilizados. O reúso da água é um importante instrumento para o enfrentamento da escassez e má distribuição de água em regiões onde a relação de demanda e a oferta de água não é proporcional, que ocorre principalmente em áreas com desenvolvimento urbano, industrial e agrícola elevados. (MANCUSO; SANTOS, 2003).

Para Cavalcanti (2016), as membranas filtrantes têm sido cada vez mais utilizadas no tratamento avançado de águas e efluentes líquidos, com aplicação, por exemplo, na separação sólido-líquido. Nesta aplicação, a água ou efluente são tratados por processos de filtração terciária, polimento ou Reator de Membrana, com a finalidade de reutilizar esse recurso. O processo reator de membrana agrega as membranas em sistemas biológicos de lodos ativados, produzindo um efluente livre de sólidos e de baixa turbidez.

No Brasil, o processo reator de membrana já é uma tecnologia disponível para a sua aplicação em tratamento de esgotos sanitários, no entanto, há uma resistência em sua utilização, devido ao custo ser relativamente alto para a sua implantação, não haver mão de obra especializada no país, pouco material técnico específico da tecnologia e produção científica nacional e por fim, há pouco incentivo público para o desenvolvimento de tecnologias de tratamento avançada e reúso de água (SUBTIL; HESPANHOL; MIERZWA, 2013).

O aumento do consumo de água, aliado com a falta de esgotamento sanitário vem causando a diminuição de água disponível em regiões urbanizadas. Para que seja economizada a água potável para consumo humano, é importante estabelecer ferramentas de gestão, como o reúso, de forma a utilizar águas não potáveis em usos em que não se exija a potabilidade (MANCUSO; SANTOS, 2003). Dessa forma questiona-se: **De que forma pode ser desenvolvido um projeto de uma estação de tratamento de esgoto sanitário de uma indústria da cidade de Chapecó (SC), com a tecnologia de tratamento Reator de Membrana para fins de reúso não potável do efluente tratado?**

Essa pesquisa tem como objetivo geral desenvolver o projeto de uma estação de tratamento de esgoto sanitário de uma indústria da cidade de Chapecó (SC), com a tecnologia de tratamento Reator de Membrana. Tendo como objetivos específicos: Quantificar o esgoto sanitário gerado na indústria por meio de um medidor eletromagnético instalado na tubulação de recalque; Caracterizar o esgoto sanitário através de análises físico-químicas e microbiológicas; Verificar as possíveis formas de reúso dentro da indústria; Dimensionar o sistema de tratamento e o reúso do efluente tratado para fins não potáveis; Elaborar o *layout* do sistema de tratamento dimensionado.

Empreendimentos desprovidos de rede coletora de esgotos devem possuir um sistema de tratamento individual para operarem conforme determina a lei e para que os seus esgotos recebam um adequado tratamento, para posteriormente serem lançados ao meio ambiente de forma a não poluí-lo. Tendo isto em vista o reúso do esgoto tratado se mostra como uma estratégia para que esses empreendimentos reduzam a sua dependência de outras fontes de água. A adoção da tecnologia de tratamento reator de membrana pode ser uma alternativa para localidades ou empreendimentos que não são atendidas por estes sistemas públicos, possibilitando o reúso do efluente tratado no próprio local de geração, dependendo menos de uma única fonte de água, e não utilizando grandes áreas territoriais.

## 2 REVISÃO TEÓRICA

O esgoto doméstico é o efluente resultante do uso da água para fins higiênicos, e que é captado por meio de instalações hidrossanitárias de uma edificação. O esgoto industrial é proveniente dos processos industriais que geram resíduos líquidos. A água de infiltração é aquela que penetra na tubulação do sistema de esgotamento, e a água pluvial é a que escorre pela superfície e acaba entrando na rede de esgotamento, carregando folhas, terra, etc. (MENDONÇA; MENDONÇA, 2017).

De acordo com Von Sperling (2005), esgotos domésticos são compostos por cerca de 99,9 % de água, sendo que a fração restante são poluentes, que devem ser removidos em um tratamento. Esses poluentes são matérias orgânicas ou inorgânicas, que se apresentam na forma suspensa ou dissolvida, provenientes principalmente de resíduos alimentícios, fezes, matéria vegetal, sais e outros materiais (MENDONÇA; MENDONÇA, 2017).

Para analisar a biodegradabilidade de um efluente, Metcalf e Eddy (2016) indicam a utilização da relação  $DBO_5/DQO$ , que para esgoto sanitário varia de 0,3 a 0,8. Valores acima de 0,5 indicam que a fração orgânica do esgoto bruto é elevada e então é facilmente tratado por sistemas biológicos. Valores inferiores a 0,3 indicam que o esgoto pode conter compostos tóxicos, podendo ser necessário a aclimação de microrganismos para efetuar o tratamento.

De acordo com Von Sperling (2005) os microrganismos necessitam, além do carbono, de nutrientes como nitrogênio e fósforo para realizar o metabolismo e degradar a matéria orgânica presente no efluente. Para sistemas de tratamento biológicos aerados, a relação Carbono:Nitrogênio:Fósforo (relação C:N:P) deve ser 100:5:1 para idade de lodos mais baixas, e 100:3:0,5 para idades de lodo acima de 20 dias. Esta relação mostra a quantidade de nitrogênio e fósforo necessário para os microrganismos degradarem 100 unidades de  $DBO_5$ .

## 2.1 ESGOTO SANITÁRIO NO BRASIL

A Lei Federal nº 11.445 estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico. O acesso universal aos serviços de saneamento básico é princípio fundamental desta lei, e o acesso a estes serviços deverá ser fornecido a todos os domicílios do país de forma progressiva (BRASIL, 2007).

O Plano Nacional de Saneamento Básico considera que a população atendida com rede coletora com tratamento de esgoto coletivo, e a população atendida com fossa séptica (com sistema individual de tratamento) tem atendimento adequado de esgotamento sanitário. Quando se menciona fossa séptica, pressupõe-se que esta foi adequadamente dimensionada e construída, seguida de um pós-tratamento ou unidade de disposição final. Em 2010, aproximadamente 40% da população brasileira tinha atendimento adequado de esgotamento sanitário (BRASIL, 2014).

Utilizando esse mesmo conceito, em 2013, 55 % da população possuía atendimento adequado a esgotamento sanitário, sendo 43 % atendido por sistema coletivo e 12 % atendido por sistema individual (BRASIL, 2017).

Com relação à carga orgânica removida do esgoto gerado nas cidades brasileiras, o Atlas Esgotos demonstra que grande parte das cidades (86 % do total) não atende remoção mínima de 60 %, que é o estabelecido na resolução CONAMA nº 430 (2011). E 70 % dos municípios atingem no máximo 30 % de remoção de matéria orgânica, mostrando o déficit de esgotamento básico no país (BRASIL, 2017).

## 2.2 SISTEMAS DE TRATAMENTO DE ESGOTO SANITÁRIO

De acordo com Mendonça e Mendonça (2017), o grau de tratamento assim como a eficiência necessária de tratamento está condicionado às características do corpo receptor, dos usos desse corpo receptor, e da legislação ambiental.

As etapas de tratamento de esgoto são classificadas em níveis, a saber: preliminar; Primário; Secundário; Terciária. Um sistema de tratamento de esgotos é dividido em operações físicas unitárias, a qual utiliza forças físicas como método de tratamento; processos químicos unitários, que utiliza produtos químicos no tratamento; e processos biológicos unitários, que utiliza a atividade microbiana para a remoção dos poluentes (VON SPERLING, 2005).

O tratamento preliminar destina-se principalmente na remoção de sólidos grosseiros, com mecanismos físicos, como grades, peneiras, canais desarenadores. (VON SPERLING, 2005). Para Nunes (2012), as peneiras têm como função a retenção de sólidos grosseiros com

diâmetro superior a 0,25 mm. No modelo de peneiras estáticas, o efluente é encaminhado para a parte superior da tela, e escoar pela malha da peneira, sendo que o líquido atravessa a malha e sai pela parte de trás, e os sólidos são retidos na parte frontal do equipamento. A vazão de dimensionamento de peneiras estáticas deve ser a máxima.

A remoção de gorduras e sólidos flutuantes também é feita no tratamento preliminar, principalmente utilizando caixas de gordura, e tem como finalidade evitar obstruções em tubulações e conexões, evitar aderência em equipamentos das unidades de tratamento e minimizar a geração de odor (JORDÃO; PESSÔA, 2017). De acordo Nunes (2012), o volume da caixa de gordura pode ser determinado pelo produto da vazão pelo tempo de detenção ( $t_g$ ), que pode chegar a 30 minutos para temperatura de líquido superior a 25 °C.

Para efluentes com vazão afluente com variações acentuadas ao longo do dia, Von Sperling (2005) sugere que seja utilizado tanque de equalização após o tratamento preliminar. Esses tanques trabalham com nível variável, absorvendo os picos de vazão, e permitem que a vazão de bombeamento seja aproximada para a vazão média diária. Para evitar a deposição de materiais sedimentáveis, é necessária a instalação de um sistema de agitação, que pode ser por meio de aeradores de superfície, agitador mecânico, difusores de ar, etc. (NUNES, 2012).

Os sistemas biológicos fazem parte do tratamento secundário em estações de tratamento. Os sistemas mais utilizados em países de clima quente são: Lagoas de estabilização; Disposição no solo; Sistemas anaeróbios; Lodos ativados; Reatores aeróbios com biofilme (VON SPERLING, 2005).

O processo de lodos ativados constitui-se basicamente por: um reator biológico aerado onde microrganismos se desenvolvem na forma de sólidos floculentos e são mantidos em suspensão pela aeração; por uma unidade de sedimentação para separação sólido-líquido; e um sistema de recirculação dos sólidos sedimentados para o reator aerado (METCALF; EDDY, 2016).

O sistema de lodos ativados é amplamente utilizado no mundo, em lugares que demandam uma boa eficiência de tratamento e dispõem de uma pequena área. Este sistema tem um nível de mecanização maior que outros sistemas (como lagoas aeradas), e requerem um controle operacional maior, assim como consomem mais energia elétrica. O sistema de lodos ativados é composto por: um tanque de aeração, onde a biomassa se desenvolve por meio da bioconversão da matéria orgânica; um decantador para separação da biomassa suspensa, e um sistema de retorno de lodo do decantador para o tanque de aeração (VON SPERLING, 2002).

A tecnologia de lodos ativados consiste no desenvolvimento de uma colônia de microrganismos aeróbios (biomassa) que se alimentam dos compostos orgânicos presentes no

efluente a ser tratado. A biomassa é mantida em suspensão no tanque de aeração pelo sistema de aeração. No decantador a biomassa sedimenta, e o efluente clarificado sai do sistema. O retorno de lodo faz com que a biomassa permaneça mais tempo no tanque de aeração que o efluente e assim aumente o consumo de matéria orgânica. Este tempo de detenção da biomassa é chamado de idade do lodo ou tempo de detenção celular (VON SPERLING, 2002).

A tecnologia de lodos ativados tem quatro classificações de acordo com a idade de lodo (PELETEIRO; ALMEIDA, 2014): aeração modificada: em torno de 3 dias; lodos ativados convencionais: entre 4 e 10 dias; intermediária: entre 11 e 17 dias; aeração prolongada: acima de 18 dias.

Uma variante do sistema de lodos ativados é o sistema de reator de membrana, em que se empregam membranas semipermeáveis para a separação sólido-líquido. É um processo que vem sendo utilizado onde se deseja um efluente de ótima qualidade, e tem se tornado tendência no mundo e no Brasil a sua aplicação (JORDÃO; PESSÔA, 2017).

Uma membrana aplicada em sistemas de tratamento de efluentes tem o papel de reter componentes físicos ou químicos, atuando desta forma como uma barreira semipermeável. Assim, os constituintes que atravessam a membrana são chamados de permeado, e os constituintes que são retidos pela membrana são chamados de concentrado. (JUDD, 2006) (tradução nossa).

Os processos de separação por membranas podem ser classificadas em: microfiltração (MF), ultrafiltração (UF), nanofiltração (NF), osmose reversa (OR) e eletrodialise (ED). Com exceção da ED, que tem como força motriz a diferença de potencial elétrico, para realizar a separação nas membranas de MF, UF, NF e OR é necessário pressão hidráulica ou vácuo. De modo geral, quanto menor o tamanho dos poros, maior é a pressão necessária para a separação ocorrer (METCALF; EDDY, 2016).

Os módulos mais utilizados em reator de membrana são os de placa plana, fibra oca e tubular. O fluxo nas membranas pode ser de dentro para fora ou de fora para dentro. Esse último é o mais aplicado para tratamento de efluentes, devido normalmente a alimentação ter alta concentração de sólidos suspensos, e também porque podem ser contralavadas (JUDD, 2006; METCALF; EDDY, 2016) (tradução nossa).

O processo de tratamento biorreator de membrana, também conhecido como MBR (do inglês, *Membrane Bioreactor*), combina o sistema de lodos ativados com o processo de separação sólido-líquido por membranas de microfiltração ou ultrafiltração, que tem a função de reter a biomassa. As membranas de ultrafiltração são as mais usuais, pois retém grande parte dos microrganismos (METCALF; EDDY, 2016). As membranas substituem o decantador

secundário, e desta forma eliminam os problemas operacionais que podem ocorrer devido à má sedimentabilidade do lodo devido à flocos pequenos ( $<10 \mu\text{m}$ ), à alta concentração de lodo no reator aerado ( $>5 \text{ gSST/L}$ ), e também ao *bulking* do lodo (SUBTIL; HESPANHOL; MIERZWA, 2013).

Metcalf e Eddy (2016) destacam que os sistemas MBR têm várias vantagens sobre o sistema de lodos ativados com decantador secundário convencional: redução da área de implantação do tanque de aeração, devido à maior concentração de sólidos suspensos no tanque de aeração (entre  $8.000 \text{ mg/L}$  a  $12.000 \text{ mg/L}$ ), e à remoção do decantador secundário; não há preocupação sobre o desenvolvimento de bactérias filamentosas, que ocasionam problemas operacionais no sistema com decantador; pelo fato de haver alta remoção de sólidos suspensos pela membrana, o efluente é passível de reúso; diminuição da dosagem de desinfetantes.

De acordo com Silva (2009) os módulos de membranas podem ser instalados externamente ao tanque de aeração, ou submersos nele. No módulo externo, o efluente do reator aerado é bombeado ao módulo de membrana. Na forma submersa, os módulos de membranas são instalados no próprio tanque de aeração, ou em um tanque separado, e o licor misto fica em contato com a superfície da membrana. Para extrair o permeado, é necessária a instalação de uma bomba para fazer vácuo no lado do permeado, ou ter uma coluna de líquido no tanque de aeração.

De acordo com Metcalf e Eddy (2016), são dois os principais parâmetros para projeto e operação de sistemas MBR. O primeiro é o fluxo através das membranas, que é a relação entre a vazão de permeado e a área de membrana, expressa em  $\text{L/m}^2.\text{dia}$ . O segundo parâmetro é a perda de carga nas membranas (PTM). A relação entre o fluxo e a PTM resulta na permeabilidade da membrana, e a redução desse valor é um indicador da deposição de sólidos na membrana.

Com o fluxo de permeado (F) é possível se obter a área necessária de membrana. Mas a escolha deste valor depende da concentração de sólidos suspensos no tanque de aeração (SSTA), temperatura, PTM, e formação de sólidos na membrana. Para projeto, os valores de SSTA normalmente estão entre  $8.000$  e  $12.000 \text{ mg/L}$ , levando em consideração critérios técnicos e econômicos, e os fatores mencionados (METCALF; EDDY, 2016).

Os sólidos suspensos gerados no reator aerado são completamente retidos pelas membranas, o que possibilita ao operador ter controle sobre a idade do lodo, fazendo o descarte de lodo excedente, e também permite o controle da taxa de degradação de substrato (JUDD, 2006) (tradução nossa). De acordo com Provenzi (2005), essa completa retenção de sólidos proporciona uma alta concentração de sólidos no reator e assim eleva idade de lodo, conduzindo

a uma menor produção de lodo. O Quadro 1 traz as faixas típicas utilizadas para o dimensionamento do reator aerado, do sistema de difusão de ar para o sistema de membrana.

A redução ou perda de desempenho das membranas está associada à ocorrência de depósitos na membrana, e pode ser verificada pelo aumento da PTM ou pela redução da permeabilidade. Esse efeito ocorre pela deposição devido à substâncias poliméricas extracelulares (SPE) e a coloides que formam uma torta sobre a superfície da membrana aumentando a perda de carga através da membrana (METCALF; EDDY, 2016).

**Quadro 1– Parâmetros de dimensionamento segundo diferentes autores**

PARÂMETROS	UNIDADE	FAIXA DE VALOR	REFERÊNCIA
Sólidos Suspensos Totais (SST) no reator aerado	mg/L	15.000 a 25.000	Schneider e Tsutiya (2001) apud Pereira (2016)
		8.000 a 12.000	Metcalf e Eddy (2016)
Idade de lodo ( $\theta_c$ )	Dia	30 a 45	Schneider e Tsutiya (2001) apud Pereira (2016)
		5 a 72	Campello (2009)
Coeficiente de produção celular (Y)	gSSV/gDBO <sub>5</sub>	0,4 a 0,8	Von Sperling (2002)
		0,4	Judd (2006)
		0,4 a 0,8	Metcalf e Eddy (2016)
Coeficiente de respiração endógena (K <sub>d</sub> )	Dia <sup>-1</sup>	0,06 a 0,1	Von Sperling (2002)
		0,12	Judd (2006)
		0,06 a 0,15	Metcalf e Eddy (2016)
Fração biodegradável dos SSV imediatamente após a geração (f <sub>b</sub> ' )	-	0,8	Von Sperling (2002)
Fluxo de água através da membrana (F)	L/m <sup>2</sup> .h	25	Judd (2006)
Fator de correção da concentração de saturação de oxigênio ( $\beta$ )	-	0,95	Judd (2006)
		0,7 a 0,98	Von Sperling (2002)
Fator de correção do coeficiente de transferência de oxigênio ( $\alpha$ )	-	0,4 a 0,8	Von Sperling (2002)

Fonte Elaborado pelo autor (2019).

Para o controle de depósitos na membrana são adotados os seguintes métodos: utilização de peneiras finas no pré-tratamento, com malha entre 0,8 e 2,0 mm; sistema de arraste de ar por meio de difusores de bolha grossa instalados na base dos módulos de membrana; adoção de períodos de relaxamento da membrana, em que não é feito a sucção de permeado; limpezas químicas de manutenção e recuperação das membranas (METCALF; EDDY, 2016).

A desinfecção de esgotos tem como objetivo a inativação dos organismos presentes, principalmente os que ameaçam a saúde humana (VON SPERLING, 2005). Como a identificação de organismos patogênicos é difícil em laboratórios de estações de tratamento, Jordão e Pessôa (2017), mencionam que são utilizados organismos que indicam contaminação, como os coliformes totais, coliformes fecais, e enterococos fecais. Essa indicação, demonstra que a amostra está contaminada com esgotos, e possivelmente por patogênicos.

Dentre as possibilidades para a desinfecção a cloração é largamente utilizado como desinfetante de águas e esgotos, na forma de cloro gasoso, hipoclorito de sódio ou de cálcio, o cloro atua principalmente na oxidação do material celular dos patógenos. (VON SPERLING, 2005).

De acordo com Metcalf e Eddy (2016), para atingir uma concentração de coliformes totais no efluente tratado de 23 NMP/100mL após sistemas de microfiltração, é necessário uma dosagem de cloro de 0,03 mg/L.

### 2.3 REÚSO DE EFLUENTE TRATADO

A aplicação da técnica de reúso tem sido motivada principalmente por dois fatores: falta de água doce limpa ou potável disponível e sustentabilidade, sendo o primeiro o principal motivador, principalmente em áreas densamente povoadas e que sofrem com períodos de seca. Outros fatores que levam ao reúso são: proteção do meio ambiente, o custo de lançamento de efluentes e o custo da água potável (KUBLER; FORTIN, MOLLETA, 2015).

De acordo com Mancuso e Santos (2003), o reaproveitamento da água pode ser para fins potáveis ou não potáveis. O reúso potável pode ocorrer de forma planejada ou não, e subdivide-se em reuso direto e reuso indireto. E o reúso não potável pode ser dividido para os seguintes fins: agrícolas; industriais; recreacionais; domésticos; manutenção de vazões de cursos hídricos; aquicultura; recarga de aquíferos subterrâneos.

De acordo com Rezende et al. (2017) o Brasil não possui uma norma especificando os padrões para o reúso de água, e em geral são adotados padrões internacionais, dificultando assim a adoção dessa prática. Isso também pode pôr a saúde dos usuários da água de reúso e da população em risco, pois não há orientação aos profissionais para projetar tais sistemas, assim como não há fiscalização desses sistemas.

A ABNT NBR 13.969 (1997) prevê como alternativa de disposição final de efluentes, o reúso local não potável do esgoto tratado em sistemas individuais composto por fossa séptica seguida de pós-tratamento. Os tipos de reúso previstos são a irrigação de jardins, campos agrícolas e pastagens, a lavagem de pisos e veículos automotivos, na descarga dos vasos sanitários, na manutenção paisagística dos lagos e canais com água, etc, de acordo com o grau de reúso.

O Conselho Nacional de Recursos Hídricos – CNRH estabeleceu por meio da Resolução CNRH n°54 (BRASIL, 2005) as modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de reúso direto não potável de água, mas não estabeleceu nenhum parâmetro relacionado à qualidade da

água de reúso, deixando a cargo de outros órgãos competentes a elaboração desta parametrização. As modalidades de reúso previstas são: para fins urbanos, fins agrícolas e florestais, fins ambientais, fins industriais, e na aquicultura.

### 3 METODOLOGIA

Este trabalho utilizou do método científico indutivo, pois parte do princípio de que todos os sistemas de tratamento MBR em outras experiências funcionaram para o tratamento de esgoto sanitário, então esse sistema é adequado para o tratamento de esgoto sanitário em todos os casos.

O nível de pesquisa deste estudo é exploratória, que de acordo com Severino (2007), delimita um campo de trabalho e busca levantar informações sobre um determinado objeto. No caso deste trabalho, o objeto de estudo é a empresa de fabricação de equipamentos de poliéster reforçado com fibra de vidro, e outros plásticos, e as informações que foram levantadas são referentes ao esgoto sanitário gerado pela empresa e forma em que este pode ser tratado possibilitando o reúso não potável.

O delineamento da pesquisa é estudo de caso do efluente sanitário gerado por uma empresa de fabricação de equipamentos de poliéster reforçado com fibra de vidro, e outros plásticos, localizada na cidade de Chapecó-SC. Foram analisadas as características físico-químicas do esgoto sanitário, medida a vazão gerada diariamente, verificada as possíveis formas de reúso, e proposta uma estação de tratamento de esgoto pelo processo MBR, para possibilitar o reúso direto não potável do efluente tratado.

A coleta de dados deste trabalho se deu por meio de documentos, observação e imagens. O documento utilizado neste trabalho foi o relatório da análise físico química do esgoto bruto da empresa em estudo, e emitido pelo laboratório que realizou a amostragem e as análises.

A observação foi feita em um medidor de vazão eletromagnético que registrava a vazão da bomba de recalque da elevatória de esgoto existente na empresa. Este medidor registrava a vazão instantânea e o volume acumulado. A observação da vazão foi feita de 3 de Janeiro de 2019 a março de 2019, sendo registrado o volume acumulado de segunda a sexta feira as 15h:00. Nos finais de semana não havia expediente, logo não havia geração de efluente. Para a elaboração do dimensionamento da ETE, foram utilizados os roteiros apresentados em livros.

A população desta pesquisa são as empresas que fabricam equipamentos em fibra de vidro na cidade de Chapecó-SC, sendo que a amostra é uma destas empresas. A amostra

escolhida para esse trabalho é classificada como não-probabilística, sendo selecionada de forma intencional. Este trabalho utilizou a técnica de análise classificada como quantitativa.

## 4 RESULTADOS

Atualmente a água potável é proveniente de um poço artesiano, que abastece a fábrica para todos os fins. O esgoto gerado nos vestiários, refeitório e banheiros do escritório é encaminhado para uma estação de tratamento existente, composta por um tanque vertical compartimentado, com um reator anaeróbio de fluxo vertical e um sistema de lodos ativados, com destino final do efluente em sumidouro.

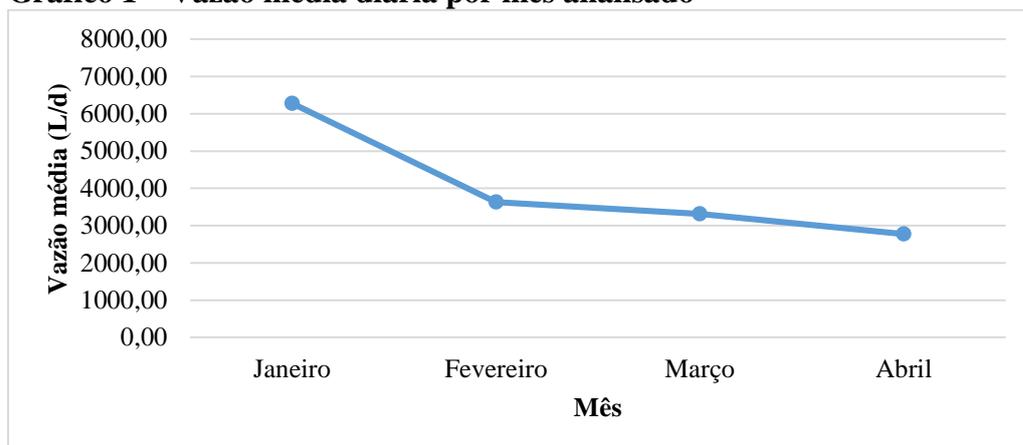
### 4.1 AVALIAÇÃO QUALI-QUANTITATIVA DO ESGOTO SANITÁRIO

Para realizar a caracterização do esgoto sanitário gerado na indústria de fibras, foram feitas análises físico-químicas e bacteriológicas, e foi realizada a medição da vazão de esgoto bruto. O esgoto é gerado nos vestiários, no refeitório, e nos banheiros do escritório da empresa, que são coletados por um conjunto de tubulação que encaminha o esgoto ao sistema de tratamento existente.

Durante o período de análise da geração de esgoto sanitário na empresa, o número de funcionários decresceu, como pode ser visto na Tabela 1.

Para o cálculo da vazão de esgoto bruto foi utilizado um medidor eletromagnético instalado na linha recalque da elevatória de esgoto existente na empresa. Este medidor mostrava a vazão instantânea passando na tubulação, e registrava a vazão acumulada. Os dados de vazão acumulada foram anotados diariamente, de segunda a sexta-feira, no período de 3 de janeiro de 2019 a 30 de abril de 2019. Nos finais de semana a empresa não tem expediente, logo não há geração de esgoto, e portanto para os cálculos de vazão média foram considerando somente os dias úteis. A vazão média registrada no período analisado foi de 4.001,64 litros/dia.

O Gráfico 1 mostra a vazão média diária de cada mês do período analisado. Percebe-se que de janeiro para abril a vazão diminuiu mais que a metade. Janeiro foi o mês em que houve maior geração de esgoto sanitário na empresa pois, além de ter mais funcionários que os meses de março e abril, neste mês ocorreu o retorno das férias coletivas da empresa, e é período em que são feitas limpezas mais pesadas nos setores, inclusive em caixas de água.

**Gráfico 1 – Vazão média diária por mês analisado**

Fonte: Dados da pesquisa (2019).

Analisando os dados de contribuição per capita conforme Tabela 1, é possível constatar que o mês de janeiro também foi o mês em que a contribuição per capita média foi a mais alta dos meses analisados. Nos demais meses os valores de contribuição foram bem próximos. A contribuição per capita média foi de 37,59 litros/funcionário.dia.

**Tabela 1 – Média de geração de esgoto**

MÊS	VAZÃO MÉDIA MENSAL (L/dia)	NÚMERO DE FUNCIONÁRIOS	CONTRIBUIÇÃO PER CAPITA (L/dia.funcionário)
Janeiro	6.279,81	112	56,07
Fevereiro	3.634,01	113	32,16
Março	3.315,00	106	31,27
Abril	2.777,75	90	30,86
Média	4.001,64	105,25	37,59

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Para a análise do efluente, as coletas de amostra e as análises foram feitas por um laboratório terceirizado. As amostras foram coletadas de dentro do tanque de recalque existente que possui um sistema de recirculação de efluente para evitar o depósito de material sedimentável dentro do tanque. Na Tabela 2 estão apresentados os valores mínimos e máximos das análises feitas nos meses de janeiro a abril de 2019 do esgoto sanitário bruto da empresa.

**Tabela 2 – Resultados da análise do esgoto sanitário bruto**

PARÂMETRO	UNIDADE	RESULTADO		
		MÍNIMO	MÉDIA	MÁXIMO
DQO	mgO <sub>2</sub> /L	453	815,67	1000
DBO <sub>5</sub>	mgO <sub>2</sub> /L	264	433,67	646
pH	-	6,97	7,04	7,1
Fósforo Total	mgP/L	4,4	9,43	12,6
Nitrogênio Amoniacal	mgNH <sub>3</sub> -N /L	31,32	51,77	66,5
Óleos e Graxas Totais	mg/L	130,77	141,49	158

Sólidos Sedimentáveis	mL/L	1,2	2,73	4
Sólidos Suspensos Totais	mg/L	79	141,33	187
NMP de E. coli	NMP/100mL	8.160.000	18.853.333,33	24.200.000

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Analisando os resultados médios, a relação  $DBO_5/DQO$  do esgoto bruto resultou em 0,53, sendo característico de esgoto sanitário bruto, com elevada biodegradabilidade, portanto, é indicado um tratamento biológico para este efluente.

Para a concentração média das amostras analisadas, a relação C:N:P resultou em 100:11,97:2,17, valor superior ao que Von Sperling (2005) apresenta, portanto este efluente tem características favoráveis ao crescimento biológico, pois tanto o nitrogênio como o fósforo total não serão limitantes ao metabolismo microbológico.

#### 4.2 REÚSOS PROPOSTOS

No acompanhamento das atividades da indústria foi possível verificar os usos de água em que não há a necessidade de ser potável, em que o efluente tratado pode ser reutilizado. O reúso proposto é não potável direto, em que o efluente após passar pelo devido tratamento, é encaminhado à rede de distribuição de água de reúso, que é separada da rede de distribuição de água potável:

- a) Reúso em descargas de vasos sanitários;
- b) Limpeza de calçadas;
- c) Limpeza de equipamentos produzidos que não serão utilizados para armazenamento de água potável;
- d) Testes de estanqueidade de equipamentos: nesse uso os tanques são cheios com água para verificar a presença ou não de vazamentos. Há o risco de contato com a água pelo operador nos procedimentos de enchimento e esvaziamento, assim como em caso de haver vazamento;
- e) Irrigação de áreas verdes como gramados, vegetação decorativa, etc.

Dentre os usos levantados, a limpeza de equipamentos é que leva mais riscos, pois o operador poderá aspirar aerossóis. Com isso, de acordo com ABNT NBR 13.969 (1997), este tipo de reúso se classifica como Classe I, e exige os seguintes padrões de qualidade:

- a) Turbidez: inferior a 5,0;
- b) Coliformes fecais: inferior a 200 NMP/100 mL;
- c) Sólidos dissolvidos totais: inferior a 200 mg/L;

- d) pH entre 6,0 e 8,0;
- e) Cloro residual: entre 0,5 mg/L e 1,5 mg/L.

#### 4.3 DIMENSIONAMENTO DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO

A estação de tratamento proposta irá levar em conta as características físico químicas do esgoto sanitário analisado na indústria, assim como as contribuições per capita calculadas no período. Para o dimensionamento da estação de tratamento de esgoto sanitário, serão adotados as seguintes considerações:

- a) Concentrações afluente equivalente aos valores máximos da Tabela 2;
- b) Maior contribuição per capita de esgoto da Tabela 1;
- c) Número de funcionários: 150 pessoas, prevendo um aumento no quadro de funcionários da empresa;
- d) Qualidade do efluente tratado para o uso mais restrito do item 4.2.

Para atender a qualidade do efluente conforme item 4.2, será utilizado o sistema de tratamento Reator de Membrana. Para garantir o residual de cloro no efluente tratado deverá ser feita a dosagem de cloro ao final do tratamento.

A Tabela 3 mostra os parâmetros do esgoto bruto adotados para o dimensionamento da estação de tratamento.

**Tabela 3 – Parâmetros adotados para dimensionamento da ETE**

PARÂMETRO	UNIDADE	QUANTIDADE
Número de funcionários (N)	Pessoas	150
Contribuição de esgoto per capita (C)	L/pessoa.dia	56,07
Concentração de DBO <sub>5</sub>	mgO <sub>2</sub> /L	646,0
Período de funcionamento (t <sub>f</sub> )	Horas	10

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

A vazão média diária calculada é 8.410,5 L/dia. Como o esgoto é gerado durante as 10 horas de expediente, a vazão horária é 841,05 L/h. E a vazão máxima calculada é 1.513,89 L/h.

Será adotada uma peneira estática com tela com abertura de 1,5 mm, que de acordo com Nunes (2012) a taxa de aplicação para essa abertura é de 35 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.h. A área de peneira estática necessária para a vazão máxima gerada durante as 10 horas de operação da indústria é 0,043 m<sup>2</sup>. Será adotado uma peneira estática com área de filtração de 0,8m<sup>2</sup>, que é o modelo comercial da empresa.

A caixa de gordura assim como a peneira estática irá se localizar antes da equalização da vazão, portanto a vazão de cálculo será a máxima. Para o tempo de detenção de 30 minutos, o volume da caixa dever ser de 756,94 L. De acordo com Nunes (2012), o comprimento dever ser duas vezes a largura da caixa. Portanto será adotada um caixa de gordura com 0,9 m de largura, 1,8 m de comprimento, e lâmina de água de 0,5 m, resultando em 810 L.

O dimensionamento do tanque de equalização, será feito levando em consideração que este deverá absorver a vazão gerada durante as 10 horas do período de funcionamento (das 7:45 h as 17:45 h), e enviar o esgoto ao tratamento de forma constante ao longo de 24 horas. A vazão de bombeamento será a vazão diária dividida por 24 horas ( $Q_b = 350,44$  L/hora). Portanto, o volume do tanque de equalização resulta em 4.906,1 L. Será adotado um reservatório de volume igual a 7.500 L, pois é o volume comercial fabricado pela empresa.

Para evitar a sedimentação de sólidos e matéria orgânica dentro do tanque de equalização deverá ser instalado um agitador de superfície. Para uma densidade de potência de  $10 \text{ W/m}^3$ , a potência mínima é 0,1 hp.

Para o dimensionamento do reator aerado, foram adotados os parâmetros conforme Tabela 4. O valor adotado de  $\text{DBO}_5$  do efluente bruto é de  $646,0 \text{ mgO}_2/\text{L}$ , que corresponde ao valor máximo encontrado nas análises do efluente. A vazão adotada é a equalizada, de  $8,41 \text{ m}^3/\text{dia}$ . De acordo com Von Sperling (2002), cerca de 68 % dos SST são voláteis.

**Tabela 4 – Parâmetros adotados para o dimensionamento do reator aerado**

PARÂMETROS	UNIDADE	VALOR
Sólidos Suspensos Totais (SST) no reator aerado	mg/L	10.000
Idade de lodo	Dias	35
Coefficiente de produção celular (Y)	gSSV/g $\text{DBO}_5$	0,6
Coefficiente de respiração endógena ( $K_d$ )	Dia <sup>-1</sup>	0,08
Fração biodegradável dos SSV imediatamente após a geração ( $f_b'$ )	-	0,8
Relação SSV/SST no reator	-	0,68
Concentração de $\text{O}_2$ no reator	mg/L	2,0
$f_H$ (para altitude de 680m)	-	0,928
$\beta$	-	0,95
$\alpha$	-	0,45
Eficiência de transferência de $\text{O}_2$	%	10
Coefficiente de segurança	%	1,15
Razão de recirculação de lodo	-	4

Fonte: Elaborado pelo Autor (2019).

De posse desses dados o volume necessário ao tanque de aeração é de  $6,83 \text{ m}^3$ , sendo necessário  $5,98 \text{ kgO}_2/\text{dia}$ , com uma vazão de ar de  $895,42 \text{ m}^3\text{ar}/\text{dia}$ .

Conforme dados da Quadro 1, para o dimensionamento das membranas, será adotado o fluxo de filtração de  $25 \text{ L/m}^2\cdot\text{hora}$ . Portanto o módulo de membranas a ser adquirido deverá ter

14,02 m<sup>2</sup> de área de membrana. Pela Equação 14, a Demanda de Aeração Específica é 0,456 Nm<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.hora. Portanto para 14,02 m<sup>2</sup> de membrana, é necessário 6,39 Nm<sup>3</sup>ar/hora para a aeração da membrana. A vazão de recirculação será de 4 vezes a vazão média da ETE, portanto igual a 1,4 m<sup>3</sup>/hora.

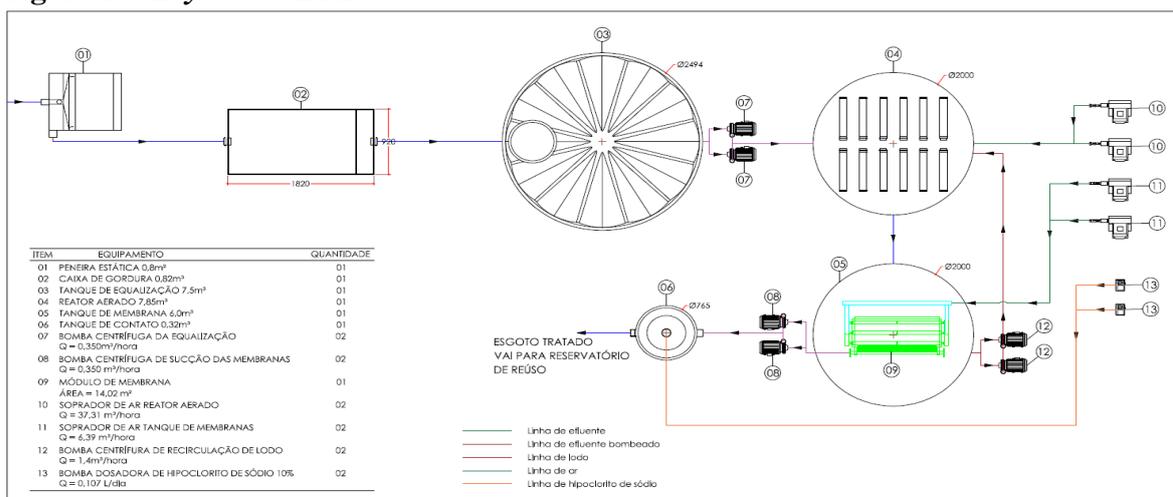
O tempo de detenção necessário para o contato do composto de cloro com o efluente tratado é 30 minutos (JORDÃO; PESSÔA, 2017), resultando num volume mínimo de 175,2 L. O modelo comercial a ser utilizado possui 320 L.

De acordo com Metcalf e Eddy (2016), para atingir uma concentração de coliformes totais no efluente tratado de 23 NMP/100mL após sistemas de microfiltração, é necessário uma dosagem de cloro de 0,03 mg/L. Portanto a dosagem (d) de cloro deverá ser de 1,53 mg/L, sendo 0,03 mg/L para a eliminação de coliformes, e 1,5 mg/L para o residual necessário no efluente tratado. A massa de cloro necessária por dia é 12,7 gCl.

O composto de cloro utilizado será hipoclorito de sódio com concentração (C) de 10 %, e densidade ( $\rho$ ) de 1,2 kg/m<sup>3</sup> (PROGRAMA DE PESQUISAS EM SANEAMENTO BÁSICO – PROSAB, 2003). Portanto a vazão de dosagem necessária de hipoclorito será de 0,107 L/d. E a bomba dosadora de hipoclorito de sódio 10 % deverá atender a vazão mínima de 0,107 L/dia.

#### 4.4 LAYOUT

A Figura 1 mostra o *layout* proposto para a ETE dimensionada. Conforme verificado na empresa, o esgoto sanitário chega por gravidade no local da ETE. Portanto não é necessário uma elevatória de esgoto bruto. Será aproveitada a própria cota do terreno. O efluente tratado e que não for reutilizado será encaminhado à um sumidouro existente.

**Figura 1 – Layout da ETE**

Fonte: Adaptado de Shelby Jr; et al. (2012).

A partir do levantamento dos dados de quantificação de esgoto gerado na indústria e pela caracterização físico-química do mesmo, é possível elaborar o projeto de uma estação de tratamento que atenda aos requisitos de qualidade estabelecidos na norma NBR 13.969 (ABNT, 1997) para reúso não potável, classificado como classe I.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve como objetivo geral realizar o projeto de uma estação de tratamento de esgoto sanitário gerado por uma indústria, com a utilização da tecnologia de tratamento reator de membrana. Para alcançar esse objetivo, foram estabelecidos cinco objetivos específicos. O primeiro foi fazer a quantificação do esgoto gerado na empresa. No período analisado houve uma grande variação da quantidade de esgoto sanitário gerado na indústria. Esta variação foi causada principalmente pelo maior número de funcionários nos primeiros meses e pelo fato de a análise ter ocorrido logo após as férias coletivas. Janeiro apresentou a maior contribuição de esgoto per capita. Nos três meses seguintes a contribuição per capita decresceu, mas com valores bem próximos entre si.

O segundo objetivo foi a análise das características físico-químicas do esgoto sanitário, sendo constatado que os parâmetros de DBO<sub>5</sub>, DQO e nitrogênio amoniacal apresentaram valores superiores do que um esgoto sanitário característico. Isso pode ser explicado pela presença da cozinha, onde é gerado um efluente mais concentrado. Os dois parâmetros analisados de sólidos, suspensos e sedimentáveis, ficaram mais baixos que a média de um esgoto característico. Possivelmente ocorreu sedimentação destes sólidos dentro do tanque de

recalque. A relação  $DBO_5/DQO$  indicou que o esgoto apresenta elevada biodegradabilidade, sendo passível de tratamento biológico, e a relação C:N:P indica que há nutrientes suficientes para realizar o tratamento por via biológica.

No acompanhamento das atividades da indústria foi possível verificar os potenciais locais ou atividades onde o efluente tratado poderia ser reutilizado e assim estabelecer a eficiência mínima para o tratamento. A grande parte das atividades envolvem o contato ou risco de respingos pelo operador, então é necessário um tratamento avançado para que a saúde dos usuários não seja colocada em risco.

Com base nos dados coletados nos objetivos anteriores, foi elaborado o dimensionamento dos equipamentos da estação de tratamento de esgoto com a tecnologia de reator de membrana, e elaborado um *layout* para apresentar a disposição desses equipamentos. Com a aplicação da tecnologia de reator de membrana obtêm-se um efluente tratado com ótima qualidade, passível de reúso não potável, ocupando área reduzida. Além disso a parte do efluente que não for reusado, será devolvido ao meio ambiente com qualidade superior ao exigido pela legislação, diminuindo o impacto ambiental e social causado por lançamento de efluentes em corpos hídricos. E assim possibilita que os usos planejados para o corpo receptor não sejam afetados.

A tecnologia reator de membrana é uma opção também às estações de tratamento de lodos ativados existentes e com área limitada para crescimento, pois é possível substituir os decantadores secundários por tanques com membranas submersas para aumentar a capacidade da ETE.

O reúso de efluente tratado possibilita que as edificações diminuam a quantidade de água recebida da concessionária do abastecimento de água potável, ou captada de outras fontes de abastecimento, diminuindo a sua dependência e vulnerabilidade em períodos de estiagem e déficit de abastecimento.

Para próximos trabalhos sugere-se fazer o acompanhamento da qualidade do efluente bruto durante um período maior de tempo, a fim de se observar as variações das características físico-químicas e de vazão durante diferentes estações do ano. Elaborar um projeto de uma estação de tratamento piloto para melhor avaliar o comportamento de um sistema de reator de membrana com o efluente sanitário da indústria, e assim definir coeficientes cinéticos biológicos, de aeração e da membrana ideais. Realizar uma análise de viabilidade econômica da estação de tratamento de esgoto proposta.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 13.969**: Tanques sépticos - Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos - Projeto, construção e operação. Rio de Janeiro: 1997.

BRASIL. Agência Nacional de Águas. **Atlas Esgoto**: Despoeuição de bacias hidrográficas. Brasília: ANA, 2017. Disponível em: [http://arquivos.ana.gov.br/imprensa/publicacoes/ATLASESGOTOSDespoeuicaodeBaciasHidrograficas-ResumoExecutivo\\_livro.pdf](http://arquivos.ana.gov.br/imprensa/publicacoes/ATLASESGOTOSDespoeuicaodeBaciasHidrograficas-ResumoExecutivo_livro.pdf) Acesso em: 20 ago 2018.

\_\_\_\_\_. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. **Resolução 357/2005**: Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e da outras providências, 2005. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459> Acesso em: 14 mar 2019.

\_\_\_\_\_. Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA. **Resolução 430/2011**: Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, 2011. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646> Acesso em: 20 mar 2019.

\_\_\_\_\_. Conselho Nacional de Recursos Hídricos-CNRH. **Resolução 54/2005**: Estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de reúso direto não potável de água, e dá outras providências, 2005. Disponível em: <http://www.cnrh.gov.br/reuso-de-agua-recursos-hidricos/37-resolucao-n-54-de-28-de-novembro-de-2005/file> Acesso em: 21 mar 2019.

\_\_\_\_\_. **Lei nº 11.445, de 05 de janeiro de 2007**. Estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico, cria o Comitê Interministerial de Saneamento Básico, altera a Lei nº 6.766, de 19 de dezembro de 1979, a Lei nº 8.036, de 11 de maio de 1990, a Lei nº 8.666, de 21 de junho de 1993, e a Lei nº 8.987, de 13 de fevereiro de 1995, e revoga a Lei nº 6.528, de 11 de maio de 1978. Diário Oficial da república Federativa do Brasil. Brasília, DF, 2007. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2007-2010/2007/Lei/L11445.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2007/Lei/L11445.htm). Acesso em: 12 out 2018.

\_\_\_\_\_. Ministério das Cidades. **Plano nacional de saneamento básico**. Brasília: Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental, 2014. Disponível em: [https://www.cidades.gov.br/images/stories/ArquivosSNSA/PlanSaB/plansab\\_texto\\_editado\\_para\\_download.pdf](https://www.cidades.gov.br/images/stories/ArquivosSNSA/PlanSaB/plansab_texto_editado_para_download.pdf). Acesso em: 10 out 2018.

CAMPELLO, F. **Nitrificação e pré-desnitrificação em sistema de tratamento de esgoto sanitário utilizando biorreator à membrana submersa visando reúso**. 2009. 117 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) Universidade Federal de Santa Catarina, 2009.

CAVALCANTI, J. E. W. de A. **Manual de tratamento de efluentes industriais**. 3 ed. ampliada. São Paulo: Engenho Editora Técnica Ltda., 2016.

JORDÃO, E. P.; PESSÔA, C. A. **Tratamento de Esgotos Domésticos**. 8 ed. Rio de Janeiro: ABES, 2017.

JUDD, S. **The MBR Book: Principles and Applications of Membrane Bioreactors in Water and Wastewater Treatment.** 1 ed. Oxford: Elsevier Ltd, 2006.

KUBLER, K.; FORTIN, A.; MOLLETA, L. **Reúso de água nas crises hídricas e oportunidades no Brasil.** São Paulo: ABES – Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2015.

MANCUSO, P. C. S., SANTOS, H. F. **Reúso de água.** Barueri, São Paulo: Manole, 2003.

MENDONÇA, S. R.; MENDONÇA, L. C. **Sistemas sustentáveis de esgotos.** 2 ed. São Paulo: Blucher, 2017.

METCALF, L.; EDDY, H. P. **Tratamento de efluentes e recuperação de recursos.** Tradução de Ivanildo Hespanhol e José Carlos Mierzwa. 5 ed. Porto Alegre: AMGH, 2016.

NUNES, José Alves. **Tratamento físico-químico de águas residuárias industriais.** 6 ed. Aracaju: Gráfica Editora J. Andrade, 2012.

PELETEIRO, C. S.; ALMEIDA, M. L. R. de. **Dimensionamento, análise e comparação da viabilidade econômica de uma estação de tratamento de esgotos utilizando os processos de lodos ativados convencional e aeração prolongada.** 2014. 100p. Monografia. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro – RJ, 2014

PEREIRA, A. R. **Reator biológico com membrana (MBR) aplicado ao tratamento de esgotos gerados por unidades residenciais unifamiliares.** 2016. 113p. Dissertação (mestrado em tecnologia ambiental e recursos hídricos). Universidade de Brasília, Brasília – DF, 2016.

PROGRAMA DE PESQUISAS EM SANEAMENTO BÁSICO – PROSAB. **Desinfecção de efluentes sanitários.** Rio de Janeiro: ABES, 2003.

PROVENZI, G. **Biorreator à membrana submersa para tratamento biológico de efluentes:** Estudos hidrodinâmicos e físico-químicos no controle da colmatção. 2005. 154p. Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis – SC, 2005.

REZENDE, T. R. et al. **Reúso de água para fins urbanos não potáveis:** regulação nacional e internacional, e critérios de qualidade da água. In: Congresso ABES/FENASAN. 2017.

SILVA, M. K. D. **Biorreatores com membranas:** uma alternativa para o tratamento de efluentes. 2009. 180p. Tese (Doutorado em engenharia). Universidade do Rio Grande do Sul, Porto Alegre – RS, 2009.

SUBTIL, E. L.; HESPANHOL, I; MIERZWA, J. C. **Avaliação de desempenho de um Biorreator com Membranas Submersas para o tratamento de esgotos sanitários visando o reúso de água.** Em: 27º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2013.

VON SPERLING, M. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias:** Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgoto. 3 ed. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 2005.

\_\_\_\_\_. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias: Lodos Ativados.** 2 ed. ampliada. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 2002.